

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФОРМЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Ю.В. Матей

Томский политехнический университет

yulya1246@mail.ru

Введение

В настоящее время прирост сырьевой базы, как правило, связан с открытием и вовлечением в разработку залежей сложного геологического строения, имеющих высокую степень неоднородности фильтрационно-емкостных свойств. Здесь перед сейсмическими исследованиями ставится задача решения обратной динамической задачи – определения характеристик изучаемой толщи по наблюдаемому волновому полю. Точность данного решения влияет на эффективность геологоразведочных и доразведочных нефтегазопроисловых работ, прогноз распределения фильтрационно-емкостных свойств в межскважинном пространстве, объемы подсчитываемых геологических ресурсов и запасов и на принимаемые впоследствии управленческие решения. Наибольшей востребованностью при этом пользуется сейсмическая инверсия, являющаяся процессом преобразования сейсмических данных в количественное описание свойств пород, составляющих резервуар [1 - 2].

Принципиально важным для большинства инверсионных алгоритмов является вопрос об оценке формы сейсмического сигнала, который оказывает огромное влияние на результат инверсионных преобразований [3]. Если в какой-либо части площади характеристики используемого при сейсмической инверсии преобразования сейсмического сигнала не соответствуют по своим амплитудно-частотным и фазово-частотным характеристикам волновому полю, то позиционирование высоко- и низкоимпедансных границ может быть несоответствующим действительности [4,5].

Таким образом, актуальность разработки алгоритмов определения формы сейсмических сигналов, обладающих высокой степенью надежности и достоверности, не вызывает сомнений.

Описание алгоритмов

Все алгоритмы определения параметров сейсмического сигнала можно подразделить на три основные категории:

- *детерминистические*: прямая регистрация характеристик сейсмического импульса при проведении полевых работ;

- *статистические*: для определения параметров сейсмического сигнала используются только данные сейсморазведки. Проблемным моментом является определение фазовых характеристик сигнала;

- *методы, использующие скважинную информацию* совместно с данными сейсмических съемок.

Указанный подход позволяет точно определять фазовые характеристики сейсмического сигнала вдоль ствола скважины. Однако полученный результат существенно зависит от качества коротажной информации.

Целью данной работы является исследование двух алгоритмов, относящихся к категории статистических алгоритмов, а именно алгоритма синфазного суммирования сейсмических трасс и алгоритма, основанного на расчете автокорреляционной функции (АКФ) сейсмической трассы.

Будем считать, что форма сигнала от трассы к трассе не изменяется, а полезный сигнал наблюдается на фоне интенсивного шума, имеющего нормальный закон распределения. Опираясь на выше сказанное, построим математическую модель сейсмической трассы в виде аддитивной суммы полезного сигнала и шума:

$$X(t) = S(t) + N(t), \quad (1)$$

где $S(t)$ – полезный сигнал;

$N(t)$ – помеха (шум).

В качестве полезного сигнала примем импульс с колокольной огибающей, описываемый выражением:

$$S(t) = a_0 * e^{-\beta^2 * t^2} * \cos(\omega_0 * t + \psi), \quad (2)$$

где a_0 – амплитуда сигнала, β – коэффициент затухания, ω_0 – основная частота, ψ – начальная фаза.

Шум будем генерировать датчиком случайных чисел с нормальным законом распределения. В качестве критерия отношения сигнала к шуму примем отношение максимальной амплитуды сигнала к среднеквадратическому отклонению шума.

В качестве примера на рисунке 1 приведены чистый сигнал и аддитивная смесь сигнала с шумом при отношении сигнала к шуму, равным 3.

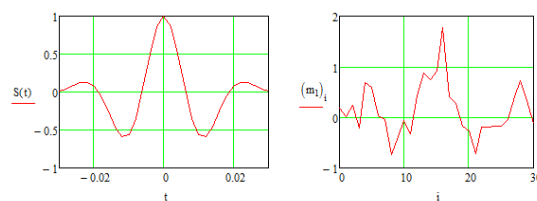


Рис. 1. а - Исходный сигнал, б - Смесь сигнала с шумом

Основная идея алгоритма синфазного суммирования состоит в последовательном накоплении участков сейсмотрасс, содержащих полезный сигнал. Применительно к нашей модели процесс накопления будет иметь вид:

$$\hat{S}(t) = \frac{\sum_{i=0}^n X_i(t)}{n}, \quad (3)$$

где $X(t)$ описывается выражением (1).

Аналитически не трудно показать, что процедура (2) позволяет увеличить отношение сигнала к шуму в корень из числа суммируемых трасс.

Общая схема второго алгоритма состоит из следующих этапов:

- вычисление АКФ для модели сейсмической трассы (1);
- определение АЧХ сигнала путем дискретного преобразования Фурье от АКФ;
- принятие допущения о виде ФЧХ сейсмического сигнала (минимально-фазовый, нуль-фазовый сигнал и т.д.);
- выполнение обратного ДПФ.

Результаты вычислительного эксперимента

Исследования рассмотренных выше алгоритмов проводились путем вычислительного эксперимента на ЭВМ.

Результаты синфазного суммирования пятидесяти трасс представлены на рисунке 2.

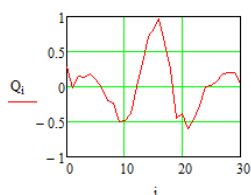


Рис. 2. Результат синфазного суммирования трасс

Из сопоставления рисунков 1 и 2 следует, что синфазное суммирование позволяет восстановить форму сейсмического импульса и тем точнее, чем больше число суммированных трасс. Однако, такой эффект достижим только в том случае, когда форма сигнала от трассы к трассе не изменяется. При изменении формы сигнала по латерали или наличии интерференции волн, данный алгоритм становится мало эффективным. Поэтому рассмотрим результаты моделирования второго алгоритма. На рисунке 3 представлена АКФ модели сейсмической трассы (1).

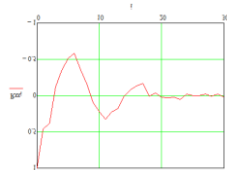


Рис. 3. АКФ модели сейсмической трассы

Нетрудно показать, что полученная АКФ (рис. 3.), дает возможность достаточно точно определить АЧХ сейсмического сигнала. Однако, получить хорошую оценку формы сигнала удастся только в том случае, если сделано верное предположение о форме ФЧХ, что на практике не всегда достижимо. Одним из путей повышения эффективности данного алгоритма является комплексирование с алгоритмом. Приведенном в работе [6].

Заключение

Таким образом, проведенные исследования на модели сейсмической трассы показали, что рассмотренные алгоритмы в ряде практически важных случаев могут оказаться малоэффективными. Поэтому возникает необходимость в разработке новых статистических алгоритмов для оценки формы сейсмических сигналов, позволяющих получать надежные оценки в сложных сейсмогеологических условиях, когда форма сигнала при его распространении через геологическую среду существенно изменяется из-за наличия поглощения и дисперсии скорости.

Список использованных источников

1. Курочкин А.Г., Борисенко Ю.Д., Калайдина В.Г. Инверсия сейсмической информации в параметры модели среды // Геофизика. Спецвыпуск «Технологии сейсморазведки». - 2003. №2. - С. 44-47.
2. Гогоненков Г.Н. Изучение детального строения осадочных толщ сейсморазведкой. М.: Недра, 1987. – 221 с.
3. Huang X., Kelkar M., Chopra A., Yang C.T. Wavelet sensitivity study on inversion using heuristic combinatorial algorithms // 65th SEG Annual International Meeting Expanded Abstracts. 1995. - Pp. 1088-1090.
4. Edgar J.A., Selvage J.I. Can thin beds be identified using statistical phase estimation? // First Break. 2011. - Vol. 29. - №3. - Pp. 55-65.
5. Brown A.R. Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. Tulsa : SEG, 2004.-6th.-541pp.
6. Kochegurov A.I., Kochegurova E.A., Kupina N.A. Detection accuracy of the temporary state of complex signals using phase-frequency tracking methods with equilibrium and non-equilibrium processing // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2015. –V. 342. – P. 27–36.